



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

PADE 030290 EP-P

PA/IB04/51428

REC'D 12 AUG 2004

WIPO PCT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

03018988.0

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 03018988.0
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 21.08.03
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Philips Intellectual Property & Standards
GmbH

20099 Hamburg
ALLEMAGNE
Koninklijke Philips Electronics N.V.
Groenewoudseweg 1
5621 BA Eindhoven
PAYS-BAS

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

Einrichtung und Verfahren zur Erzeugung eines dreidimensionalen Gefäßmodells

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

G06T17/10

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL
PT RO SE SI SK TR LI

BESCHREIBUNG

Einrichtung und Verfahren zur Erzeugung eines dreidimensionalen Gefäßmodells

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung und ein Verfahren zur Erzeugung eines dreidimensionalen Modells einer räumlichen Struktur, bei der es sich insbesondere um 5 einen Gefäßbaum handeln kann.

Die Gewinnung von dreidimensionalen Modellen einer räumlichen Struktur aus zweidimensionalen Projektionsaufnahmen der Struktur findet in verschiedenen Anwendungsfällen statt, wobei hier stellvertretend die Rekonstruktion eines Gefäßbaumes betrachtet werden soll. Eine solche Rekonstruktion ist beispielsweise bei der Diagnose 10 von ischämischen Herzkrankheiten mit möglichst hoher Genauigkeit in Bezug auf den Verlauf und die Größe der Herzkranzgefäße erforderlich. Im Rahmen der dreidimensionalen Röntgen-Rotationsangiografie wird dabei eine Röntgenvorrichtung um einen zu untersuchenden Patienten gedreht, während sie zweidimensionale Röntgenprojektionen 15 des Herzens aus verschiedenen Raumrichtungen erzeugt. In der Regel wird während der Aufnahmen ein Kontrastmittel in die Herzkranzgefäße injiziert, damit sie sich besser auf den Röntgenbildern darstellen.

Aufgrund der Eigenbewegung des Herzens durch den Herzschlag sind von den erzeugten 20 Röntgenprojektionen allerdings nur solche für die Rekonstruktion eines dreidimensionalen Modells des Gefäßverlaufes verwendbar, die aus derselben Bewegungsphase des Herzens stammen. Typischerweise wird daher mit Hilfe eines parallel aufgezeichneten Elektrokardiogramms eine entsprechende Auswahl der verwendbaren Projektionsaufnahmen vorgenommen.

25 Weiterhin muss wegen des in der Regel sehr komplizierten Gefäßverlaufes und der begrenzten Abbildungsqualität das gesuchte dreidimensionale Modell derzeit vollständig manuell rekonstruiert werden. Das heißt, dass auf einer ersten ausgewählten Projektionsaufnahme Referenzpunkte entlang des Verlaufes der Gefäß-Mittellinien sowie 30 gegebenenfalls weitere Parameter (Gefäßdurchmesser, Verzweigungspunkte etc.)

vorgegeben werden müssen. Sodann werden auf einer zweiten Projektionsaufnahme, die aus einer gleichartigen Herzschlagphase stammen muss, die korrespondierenden Punkte beziehungsweise Größen von Hand ausgewählt, wodurch das gesuchte Modell festgelegt ist (vgl. T.J. Keating, P.R. Wolf, F.L. Scarpace, "An improved method of digital

5 image correlation", Photogrammetric Eng. Remote Sensing, Vol. 41, 993–1002, 1975; C. Smets, F. van deWerf, P. Suetens, A. Oosterlinck, "Knowledge-based system for the three-dimensional reconstruction of blood vessels from two angiographic projections", Med. Biol. Eng. Comp., Vol. 29, NS27 – 36, 1991).

10 Vor diesem Hintergrund war es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Mittel zur einfacheren und zuverlässigen Rekonstruktion eines dreidimensionalen Modells einer räumlichen Struktur wie insbesondere eines Gefäßbaumes bereitzustellen.

15 Diese Aufgabe wird durch eine Einrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen enthalten.

20 Die erfindungsgemäße Einrichtung dient der Erzeugung eines dreidimensionalen Modells einer räumlichen Struktur, bei der es sich insbesondere um einen Gefäßbaum handeln kann. Die Einrichtung enthält die folgenden Komponenten:

25 a) Eine bildgebende Vorrichtung zur Erzeugung von zweidimensionalen Projektionsaufnahmen der Struktur aus unterschiedlichen Richtungen. Bei dieser bildgebenden Vorrichtung kann es sich insbesondere um eine Rotations-Röntgenapparatur handeln, wie sie zum Beispiel aus der Computertomografie bekannt ist.

30 b) Eine mit der bildgebenden Vorrichtung gekoppelte Anzeigevorrichtung mit Eingabemitteln, wobei die Anzeigevorrichtung eine der von der bildgebenden Vorrichtung erzeugten Projektionsaufnahmen (die im Folgenden als "Referenzaufnahme" bezeichnet wird) für einen Benutzer darstellen kann, damit der Benutzer interaktiv mindestens einen Bildpunkt der Struktur auf dieser Referenzaufnahme als Referenzpunkt vorgeben kann.

c) Eine mit der bildgebenden Vorrichtung und der Anzeigevorrichtung gekoppelte Datenverarbeitungseinrichtung, welche insbesondere ein Teil der bildgebenden Vorrichtung sein und dort auch Aufgaben der Steuerung und Bildverarbeitung übernehmen kann. Die Datenverarbeitungseinrichtung ist dazu eingerichtet, den Raumpunkt einer Struktur, der zu einem mit der Anzeigevorrichtung bestimmten Referenzpunkt gehört, ohne Interaktion eines Benutzers aus weiteren Projektionsaufnahmen zu rekonstruieren; die "weiteren Projektionsaufnahmen" sind dabei solche, die mit der bildverarbeitenden Vorrichtung aus anderen Richtungen als die Referenzaufnahme erzeugt wurden. Der ermittelte Raumpunkt entspricht dann dem gesuchten dreidimensionalen Modell bzw. zumindest einem Teil hiervon.

Die beschriebene Einrichtung hat den Vorteil, dass sie die semi-automatische Rekonstruktion eines dreidimensionalen Modells einer Struktur erlaubt. Anders als bei den bekannten Verfahren ist dabei nur an einer ersten Referenzaufnahme die interaktive Vorgabe von Referenzpunkten durch einen Benutzer erforderlich. Aus diesen Referenzpunkten werden dann automatisch von der Datenverarbeitungseinrichtung mit Hilfe weiterer Projektionsaufnahmen die zugehörigen Raumpunkte der Struktur rekonstruiert.

Beispiele von geeigneten Verfahren beziehungsweise Algorithmen zur automatischen Rekonstruktion werden in der nachfolgenden Beschreibung erläutert, wobei die Erfindung jedoch nicht auf die Anwendung dieser speziellen Lösungen beschränkt ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Datenverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet, den gesuchten, zu einem vorgegebenen Referenzpunkt gehörenden Raumpunkt durch Auswertung derjenigen Bildpunkte der "weiteren Projektionsaufnahmen" zu rekonstruieren, welche auf der jeweiligen Epipolarlinie des Referenzpunktes liegen. Unter der "Epipolarlinie des Referenzpunktes in Bezug auf eine gegebene Projektionsaufnahme" ist dabei diejenige in dieser Projektionsaufnahme liegende Linie zu verstehen, welche sich ergibt, wenn die Projektionslinie des Referenzpunktes (d.h. die Ver-

bindungslinie zwischen dem Referenzpunkt und dem Projektionszentrum der Referenz- aufnahme) auf die gegebene Projektionsaufnahme projiziert wird. Die Epipolarlinie beschreibt die verbleibende Unbestimmtheit hinsichtlich der Lage eines räumlichen Punktes, von welchem nur der Referenzpunkt als Abbild in der Referenzaufnahme be-

5 kannt ist. Die automatische Untersuchung der "weiteren Projektionsaufnahmen" kann sich somit auf die aus geometrischen Gründen allein in Frage kommenden Epipolar- linien beschränken, was der Verringerung des Berechnungsaufwandes zugute kommt.

In Weiterbildung der vorstehend beschriebenen Ausführungsform ist die Datenverar-

10 beitungseinrichtung ferner dazu eingerichtet, die Bildpunktswerte (d.h. zum Beispiel die Grauwerte) der auf den Epipolarlinien des Referenzpunktes liegenden Bildpunkte rech- nerisch auf die Projektionslinie des Referenzpunktes zu projizieren und dort punktweise zu einem Summenprofil zu addieren. Die Projektionslinie des Referenzpunktes ist wie bereits erläutert diejenige Linie, die das Projektionszentrum der Referenzaufnahme mit
15 dem Referenzpunkt verbindet. Das Summenprofil akkumuliert Informationen aus den verschiedenen weiteren Projektionsaufnahmen und erlaubt somit Rückschlüsse auf die Lage des gesuchten Raumpunktes.

In diesem Zusammenhang kann die Datenverarbeitungseinrichtung insbesondere dazu

20 eingerichtet sein, den gesuchten Raumpunkt als diejenige Stelle auf der Projektionslinie des Referenzpunktes zu definieren, an welcher das Summenprofil im Mittel (über alle zum Summenprofil beitragenden Projektionsaufnahmen) den Bildpunktswert des Refe- renzpunktes annimmt. Wenn die Struktur am gesuchten, auf der Projektionslinie liegen- den Raumpunkt z.B. so geartet ist, dass dieser Raumpunkt in allen seinen Projektionen
25 in etwa denselben Grauwert x_0 ergibt, bleibt dieser Grauwert x_0 im Mittel im Summen- profil erhalten. Abseits der Projektionslinie des Referenzpunktes gelegene Strukturteile mit einem ähnlichen Grauwert x_0 liefern dagegen an unterschiedlichen Positionen der Projektionslinie ihre Beiträge zum Summenprofil, so dass sich die an solchen Positio- nen gebildeten Mittelwerte in der Regel vom Wert x_0 unterscheiden. Von besonderer
30 Bedeutung ist in diesem Zusammenhang der Fall, dass der Bildpunktswert x_0 des Refe-

renzpunktes einen Extremwert hinsichtlich der möglichen Bildpunktwerte hat, also zum Beispiel auf einer Röntgenaufnahme einer maximalen Absorption entspricht; in diesem Fall nimmt das Summenprofil an der dem Raumpunkt entsprechenden Stelle ebenfalls einen Extremwert an, z.B. ein absolutes Minimum. Dieser Fall ist von besonderer praktischer Bedeutung, da Raumpunkte einer (z.B. biologischen) Struktur sich auf verschiedenen Röntgen-Projektionsaufnahmen in der Regel mit unterschiedlichen absoluten Grauwerten darstellen, also nicht auf allen Aufnahmen zu etwa demselben Grauwert x_0 führen. Die Eigenschaft, einen (bezogen auf die jeweilige Projektion) extremalen Grauwert zu haben, bleibt dagegen in den verschiedenen Projektionen in der Regel gut erhalten.

10

Die mit der Einrichtung rekonstruierte räumliche Struktur kann prinzipiell eine beliebige Form haben, z.B. eine Kugelform oder dergleichen. Insbesondere kann sie einen linienförmigen Verlauf haben, so dass definitionsgemäß ihre Erstreckung in Richtung einer (gegebenenfalls gekrümmten und/oder verzweigten) Linie größer ist als in den hierzu senkrechten Richtungen. Der bereits mehrfach erwähnte Gefäßbaum ist ein typisches Beispiel für eine verzweigte linienförmige Struktur. Zur Rekonstruktion solcher Strukturen ist die Datenverarbeitungseinrichtung vorzugsweise dazu eingerichtet, den linienförmigen Verlauf unter Vorgabe mehrerer Referenzpunkte auf einer Referenzaufnahme in einem dreidimensionalen Modell zu rekonstruieren. Typischerweise gibt ein Benutzer dabei den Verlauf von Mittellinien der Struktur auf einer Projektionsaufnahme von Hand vor, so dass die Datenverarbeitungseinrichtung den restlichen räumlichen Verlauf hieraus automatisch rekonstruieren kann.

25 Gemäß einer Weiterbildung der vorstehend beschriebenen Ausgestaltung ist die Datenverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet, die Breite der linienförmig verlaufenden Struktur aus der Projektion des rekonstruierten dreidimensionalen Modells der Struktur auf die für die Rekonstruktion dieses Modells verwendeten Projektionsaufnahmen zu bestimmen. Auf diese Weise wird zunächst die Information aller Projektionsaufnahmen 30 zur Rekonstruktion des dreidimensionalen linienförmigen Verlaufs der Struktur ausge-

nutzt, und in einem zweiten Schritt wird sodann das Ergebnis dieser Rekonstruktion in jeder einzelnen Projektionsaufnahme zur Breitenbestimmung verwendet.

Die abgebildete Struktur unterliegt in vielen Anwendungsfällen einer zyklischen Eigenbewegung. Insbesondere ist dies für ein Gefäßsystem der Fall, welches der ständigen Wirkung des Herzschlages und der Atmung unterliegt. Für derartige Anwendungen enthält die Einrichtung vorzugsweise Mittel zur Erfassung eines charakteristischen Parameters der zyklischen Eigenbewegung. In Zusammenhang mit Gefäßsystemen kann es sich bei dem Mittel insbesondere um ein Elektrokardiografiegerät zur Aufzeichnung der elektrischen Herzaktivität (EKG) handeln. Weiterhin ist die Datenverarbeitungseinrichtung in diesem Falle dazu eingerichtet, nur solche Projektionsaufnahmen für die Rekonstruktion eines Raumpunktes zu verwenden, welche aus der gleichen Phase der Eigenbewegung stammen wie die zu diesem Raumpunkt gehörende Referenzaufnahme. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die abgebildete Struktur während des Aufnahmeverganges der verwendeten Projektionsaufnahmen jeweils annähernd dieselbe räumliche Lage angenommen hat.

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Einrichtung nicht auf die beschriebene Selektion von Projektionsaufnahmen aus gleichen Bewegungsphasen angewiesen ist.

Vielmehr ist es ein Vorteil der oben erläuterten speziellen Methode mit der Berechnung eines Summenprofils, dass auch aus anderen Bewegungsphasen stammende Projektionsaufnahmen verwendet werden können, da sich ihre gegebenenfalls geometrisch nicht übereinstimmenden Beiträge herausmitteln. Daher kann auf eine aufwändige Vorselektion der Projektionsaufnahmen, welche nicht zuletzt die Erfassung eines zusätzlichen Parameters wie beispielsweise des EKG erfordert, verzichtet werden. Von Vorteil ist diesbezüglich ferner, dass die in allen Projektionsaufnahmen enthaltene Information maximal ausgenutzt wird.

Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Verfahren zur Erzeugung eines dreidimensionalen Modells einer räumlichen Struktur, welches die folgenden Schritte umfasst:

- a) Erzeugung von zweidimensionalen Projektionsaufnahmen der Struktur aus unterschiedlichen Richtungen;
- 5 b) Darstellung einer der Projektionsaufnahmen als Referenzaufnahme, um die interaktive Vorgabe mindestens eines Bildpunktes der Struktur als Referenzpunkt zu ermöglichen;
- 10 c) Automatische Bestimmung des Raumpunktes der Struktur, zu einem gemäß b) vorgegebenen Bildpunkt gehört, aus den weiteren, gemäß a) erzeugten Projektionsaufnahmen.

Das Verfahren gibt in allgemeiner Form die mit einer Einrichtung der oben beschriebenen Art ausführbaren Schritte wieder. Zur detaillierteren Erläuterung des Verfahrens, seiner Vorteile und seiner Varianten wird daher auf die obige Beschreibung verwiesen.

15

Im Folgenden wird die Erfindung mit Hilfe der Figuren beispielhaft erläutert. Es zeigt:

- Fig. 1 in einer schematischen Perspektive die Verhältnisse bei der zweidimensionalen Zentralprojektion einer Gefäßstruktur G auf drei Projektionsaufnahmen A, B, C sowie die Lage eines Referenzpunktes C_A auf einer Referenzaufnahme A;
- 20 Fig. 2 in einer Figur 1 entsprechenden Darstellung die Beiträge eines Grauwertprofils aus einer ersten Projektion B;
- 25 Fig. 3 in einer Figur 1 entsprechenden Darstellung die Beiträge eines Grauwertprofils aus einer zweiten Projektion C;
- 30 Fig. 4 die additive Überlagerung der Beiträge gemäß den Figuren 2 und 3 zu einem Summenprofil S.

In Figur 1 ist schematisch ein dreidimensionaler Gefäßbaum G dargestellt, bei dem es sich zum Beispiel um einen Teil der Herzkranzgefäße handeln kann. Von dem Gefäß

baum G soll ein möglichst genaues Modell seines dreidimensionalen Verlaufes ermittelt werden, welches zudem auch die jeweilige Breite des Gefäßes wiedergeben soll.

Zur Rekonstruktion des gesuchten Modells werden mit Hilfe einer nicht näher dargestellten Rotations-Röntgenapparatur zweidimensionale Projektionsaufnahmen A, B, C des Gefäßbaumes G erzeugt, wobei in der Praxis mehr als die dargestellten drei Projektionen erzeugt werden. Die jeweiligen Projektionszentren (das heißt die Orte der Röntgenstrahlenquelle) sind mit F_A , F_B und F_C bezeichnet. Zur Erzielung einer hinreichenden Zuverlässigkeit des Modells ist bei dessen Rekonstruktion die interaktive Mitwirkung eines Benutzers erforderlich, da die Projektionsaufnahmen nur eine begrenzte Genauigkeit haben, die Struktur eines Gefäßbaumes üblicherweise sehr komplex ist, und sich durch den Herzschlag die Position und Form des Gefäßbaumes von Projektionsaufnahme zu Projektionsaufnahme zyklisch ändert.

15 Die Interaktion eines Benutzers geschieht bei dem vorliegend betrachteten Verfahren dadurch, dass der Benutzer auf einer (zum Beispiel willkürlich ausgewählten) Projektionsaufnahme A, die im Folgenden als "Referenzaufnahme" bezeichnet wird, Punkte entlang des Verlaufes der Mittellinien der interessierenden Gefäße bzw. Gefäßsegmente vorgibt. Zu diesem Zweck kann die Referenzaufnahme A auf einem Monitor dargestellt werden, so dass der Benutzer mit Hilfe eines Zeigegerätes wie etwa einer Maus die genannten Punkte markieren kann. In Figur 1 ist diesbezüglich einer der vom Benutzer von Hand markierten Punkte, der sogenannte Referenzpunkt C_A , dargestellt.

25 Ausgehend von dem vorstehend erläuterten Szenario besteht die von einer erfindungsgemäßen Einrichtung automatisch zu lösende Aufgabe nunmehr darin, zu dem in der Referenzaufnahme A interaktiv vorgegebenen Referenzpunkt C_A den zugehörigen Raumpunkt C_{3D} auf dem Gefäßbaum G zu finden, welcher durch den Referenzpunkt C_A abgebildet wird. Im Folgenden wird dabei der vom Projektionszentrum F_A der Referenzaufnahme A zum Referenzpunkt C_A weisende Vektor, d.h. die "Projektionslinie" 30 von C_A , mit L bezeichnet, wobei der gesuchte Raumpunkt C_{3D} an einer unbekannten

Position auf der Projektionslinie liegt. Zur Ermittlung dieser Position werden die weiteren Projektionsaufnahmen B, C herangezogen.

Dabei werden auf den Projektionsaufnahmen B, C die Epipolarlinien E_C und E_B betrachtet, welche als die Projektion des Vektors \underline{L} auf die jeweilige Projektionsaufnahme C beziehungsweise B definiert sind. Unter der (noch zu prüfenden) Voraussetzung, dass der Gefäßbaum G bei der Erzeugung aller betrachteter Projektionsaufnahmen A, B und C dieselbe räumliche Lage hatte, müssen die zum gesuchten Raumpunkt C_{3D} gehörenden Bildpunkte auf den genannten Epipolarlinien E_C , E_B liegen. Bei einem vollständig manuellen Verfahren könnte in diesem Zusammenhang auf einer zweiten Projektionsaufnahme, zum Beispiel C, von Hand die Position des Bildpunktes von C_{3D} auf der Epipolarlinie E_C bestimmt werden, woraus dann die gesuchte räumliche Position von C_{3D} berechnet werden könnte. Ein solches Vorgehen hat jedoch den Nachteil, dass zwei verschiedene Projektionsaufnahmen (A und C) von Hand ausgewertet werden müssen, wobei die richtige Bestimmung des korrespondierenden Punktes auf der zweiten Projektionsaufnahme in der Regel sehr schwierig ist. Ferner bleibt die in allen anderen Projektionsaufnahmen enthaltene Information unberücksichtigt. Erfindungsgemäß wird daher ein Verfahren zur automatischen Lokalisierung des Raumpunktes C_{3D} auf dem Vektor \underline{L} vorgeschlagen.

Beim ersten Schritt dieses Verfahrens wird das eindimensionale Grauwertprofil entlang der Epipolarlinie E_B in einer ersten Projektionsaufnahme B bestimmt. Der zugehörige Verlauf des Profils ist in Figur 2 entlang der Epipolarlinie E_B sowie entsprechend skaliert beziehungsweise projiziert auch auf dem Vektor \underline{L} dargestellt.

Figur 3 zeigt das gleiche Vorgehen für eine andere Projektionsaufnahme C und die zugehörige Epipolarlinie E_C . Der als röntgendicht angenommene Gefäßbaum G äußert sich in allen Aufnahmen A, B, C durch niedrige Grauwerte, das heißt in den Grauwertprofilen durch Ausschläge nach unten.

30

Figur 4 zeigt die Berechnung eines Summenprofils S , das additiv aus den auf den Vektor \underline{L} projizierten Grauwertprofilen der einzelnen Projektionsaufnahmen B, C (Figur 2, 3) zusammengesetzt ist. Nur der auf dem Vektor \underline{L} liegende gesuchte Raum-

punkt C_{3D} hat in allen einzelnen projizierten Grauwertprofilen an derselben Stelle ein

5 Minimum. Minima von Gefäßzweigen, die nicht den Vektor \underline{L} schneiden, werden dagegen jeweils an eine andere Stelle des Vektors \underline{L} projiziert. Aus diesen Gründen wird im Summenprofil S der Ort des gesuchten Raumpunktes C_{3D} durch konstruktive Überlagerung hervorgehoben, während sich die Beiträge sonstiger Gefäßabschnitte destruktiv addieren, das heißt im Wesentlichen herausmitteln. Die Lage des Grauwert-

10 Minimums im Summenprofil S kann somit als die tatsächliche räumliche Lage des gesuchten Punktes C_{3D} definiert werden.

Das oben qualitativ beschriebene Verfahren soll nachfolgend präziser mathematisch formuliert werden. Dabei werden alle in Frage kommenden räumlichen Lagen des gesuchten Punktes C_{3D} in parametrisierter Form durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$P(\lambda) = \underline{F}_A + \lambda \frac{\underline{L}}{|\underline{L}|} , \quad (1)$$

wobei \underline{F}_A der Ortsvektor des Projektionszentrums der Referenzaunahme A und $\underline{L}/|\underline{L}|$

20 ein Einheitsvektor in Richtung von \underline{L} ist. Die zu einem Bildpunkt $\underline{X}_i = (x_i, y_i)$ führende Projektion eines beliebigen Raumpunktes \underline{P} auf einer Projektionsaufnahme i, die zu einem gegebenen Winkel α des C-Armes der Röntgenapparatur gehört, kann durch die Projektionsmatrix $\underline{\underline{M}}_\alpha$ ausgerechnet werden gemäß:

$$25 \quad \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \underline{\underline{M}}_\alpha \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \text{wobei } x_i = x_1 / x_3, \quad y_i = x_2 / x_3 \quad (2)$$

Des Weiteren sei $g_i(\underline{X}_i)$ der Grauwert in der genannten Projektionsaufnahme i an der Position \underline{X}_i . Mit Hilfe dieser Funktion kann dann jedem Punkt $\underline{P}(\lambda)$ auf \underline{L} ein "Summenprofil"-Grauwert $S(\underline{P}(\lambda))$ zugeordnet werden gemäß der folgenden Formel:

5

$$S(\underline{P}(\lambda)) = \sum_{i=1}^n g_i(\underline{X}_i) \quad (3)$$

Dabei ist \underline{X}_i die zweidimensionale projizierte Position von $\underline{P}(\lambda)$ in einer bestimmten Projektionsaufnahme i , welche aus Gleichung (2) bestimmt werden kann; n ist die maximale Anzahl an beteiligten Projektionsaufnahmen.

10

Die unter nahezu 90° zur Referenzaufnahme A stehende Projektion C wird mit minimaler Breite auf den Vektor \underline{L} abgebildet und bestimmt daher die Grenzen L1 des Bereiches auf \underline{L} , der von den Grauwertprofilen aller Projektionen überlappt wird. Wie Figur 2 zeigt, ist das projizierte Grauwertprofil jeder nicht unter 90° stehenden Projektion B in Bezug auf die 90° -Projektion C auf dem Vektor \underline{L} gestreckt.

15

Bei linienförmigen Strukturen wie dem Gefäßbaum G stehen die Minima oder Täler in einem gegebenen Grauwertprofil für potentielle Stellen, an denen sich ein Gefäß im Raum befinden kann. Im Summenprofil S addieren sich nun diese Minima nur im gesuchten Raumknoten C_{3D} konstruktiv, während für die übrigen "Kandidaten" die Überlagerung destruktiv ist und zu einer Herausmittelung führt (eine Ausnahme liegt vor, wenn der Gefäßbaum G mehr als einmal den Vektor \underline{L} schneidet; in diesem Sonderfall hat das Summenprofil S entsprechend viele Minima).

20

25 Die für die Rekonstruktion verwendeten Projektionsaufnahmen A, B, C können optional mittels einer parallelen Aufzeichnung des Elektrokardiogramms so selektiert werden, dass sie alle zur gleichen Phase des Herzzyklus gehören. Von besonderem Vorteil bei dem beschriebenen Verfahren ist jedoch, dass eine solche Vorauswahl nicht unbedingt erforderlich ist, da sich die Beiträge von Projektionsaufnahmen aus nicht passenden

Herzphasen herausmitteln. Das Verfahren kann daher durch Verzicht auf eine Auswahl einfacher gestaltet werden und gleichzeitig die Information aus allen Projektionsaufnahmen verwenden.

- 5 Des Weiteren erlaubt das beschriebene Verfahren auch die Ermittlung der Breite der Gefäße des Gefäßbaumes G . Ein Maß hierfür kann beispielsweise aus der Breite des Minimums im Summenprofil S gewonnen werden. Vorteilhafterweise wird indes ein einmal rekonstruierter dreidimensionaler Gefäßbaum auf alle vorhandenen Projektionsaufnahmen A, B, C projiziert, um dort die Mittellinien der Gefäße anzuzeigen. Sodann
- 10 kann in jeder der Projektionsaufnahmen die jeweilige Gefäßbreite punktweise entlang des Gefäßverlaufes bestimmt werden, indem zum Beispiel die Grauwertverteilungen transversal zum projizierten Gefäßverlauf ausgewertet werden.

Für die Beschreibung von experimentellen Beispielen wird auf die Veröffentlichung

- 15 "Single Projection Modeling" von B. Movassaghi, V. Rasche, M.A. Viergever und W. J. Niessen (Medical Image Computing and Computer Assisted Interventions - MICCAI-Konferenz 2003) verwiesen, welche durch Bezugnahme vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung aufgenommen wird.

EPO - Munich
41
21. Aug. 2003

PATENTANSPRÜCHE

1. Einrichtung zur Erzeugung eines dreidimensionalen Modells einer räumlichen Struktur (G), enthaltend
 - a) eine bildgebende Vorrichtung zur Erzeugung von zweidimensionalen Projektionsaufnahmen (A, B, C) der Struktur (G) aus unterschiedlichen 5 Richtungen;
 - b) eine mit der bildgebenden Vorrichtung gekoppelte Anzeigevorrichtung zur Darstellung einer der Projektionsaufnahmen (A) als Referenzaufnahme, wobei die Anzeigevorrichtung Eingabemittel enthält, um die interaktive Vorgabe mindestens eines Bildpunktes der Struktur (G) als Referenzpunkt (C_A) zu ermöglichen;
 - c) eine mit der bildgebenden Vorrichtung und der Anzeigevorrichtung gekoppelte Datenverarbeitungseinrichtung, welche dazu eingerichtet ist, den zu einem 10 Referenzpunkt (C_A) gehörenden Raumpunkt (C_{3D}) einer Struktur (G) aus weiteren, mit der bildverarbeitenden Vorrichtung aus anderen Richtungen 15 erzeugten Projektionsaufnahmen (B, C) zu rekonstruieren.
2. Einrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die bildgebende Vorrichtung eine Rotations-Röntgenapparatur ist.
3. Einrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Datenverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, den genannten Raum- 20 punkt (C_{3D}) durch Auswertung derjenigen Bildpunkte der weiteren Projektionsauf-
nahmen (B, C) zu rekonstruieren, welche auf der jeweiligen Epipolarlinie (E_B, E_C) des 25 zugehörigen Referenzpunktes (C_A) liegen.

4. Einrichtung nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bildpunktwerte der genannten Bildpunkte auf die Projektionslinie (L) des
5 Referenzpunktes (C_A) projiziert und dort punktweise zu einem Summenprofil (S)
addiert werden.

5. Einrichtung nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,

10 dass das Summenprofil (S) nur in einem Abschnitt ausgewertet wird, in welchem
Bildpunktwerte aller weiteren Projektionsaufnahmen (B, C) zur Summenprofil (S)
beigetragen haben.

6. Einrichtung nach Anspruch 4,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass der genannte Raumpunkt (C_{3D}) als die Stelle der Projektionslinie (L) des
Referenzpunktes (C_A) definiert wird, an welcher das Summenprofil (S) ein Extremum
annimmt.

20 7. Einrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die räumliche Struktur (G) einen linienförmigen Verlauf hat und die Daten-
verarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, diesen Verlauf aus der Vorgabe mehrerer
auf einer Referenzaufnahme (A) gelegener Referenzpunkte (C_A) zu rekonstruieren.

25 8. Einrichtung nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Datenverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, die Breite der Struktur (G)
aus der Projektion des rekonstruierten dreidimensionalen Modells auf Projektions-
30 aufnahmen der Struktur (G) zu bestimmen.

9. Einrichtung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass sie Mittel zur Erfassung eines charakteristischen Parameters für eine zyklische

5 Eigenbewegung der räumlichen Struktur (G) enthält und die Datenverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, nur solche Projektionsaufnahmen für die Rekonstruktion eines Raumpunktes (C_{3D}) zu verwenden, welche aus der gleichen Phase der Eigenbewegung stammen wie die zugehörige Referenzaufnahme (A).

10 10. Verfahren zur Erzeugung eines dreidimensionalen Modells einer räumlichen Struktur (G), umfassend die folgenden Schritte:

- a) Erzeugung von zweidimensionalen Projektionsaufnahmen (A, B, C) der Struktur (G) aus unterschiedlichen Richtungen;
- b) Darstellung einer der Projektionsaufnahmen als Referenzaufnahme (A), um die 15 interaktive Vorgabe mindestens eines Bildpunktes der Struktur als Referenzpunkt (C_A) zu ermöglichen;
- c) automatische Bestimmung des zum vorgegebenen Bildpunkt (C_A) gehörenden Raumpunktes (C_{3D}) der Struktur aus den weiteren erzeugten Projektionsaufnahmen (B,C).

1/2

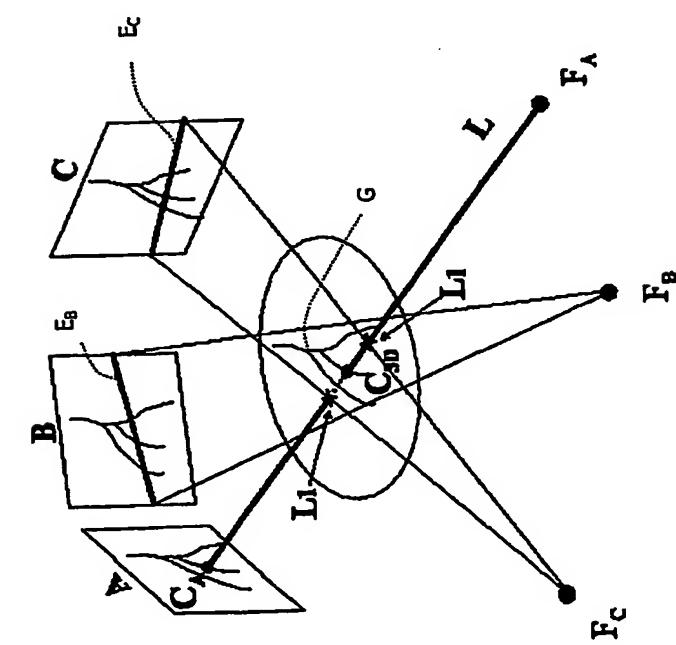


Fig. 1

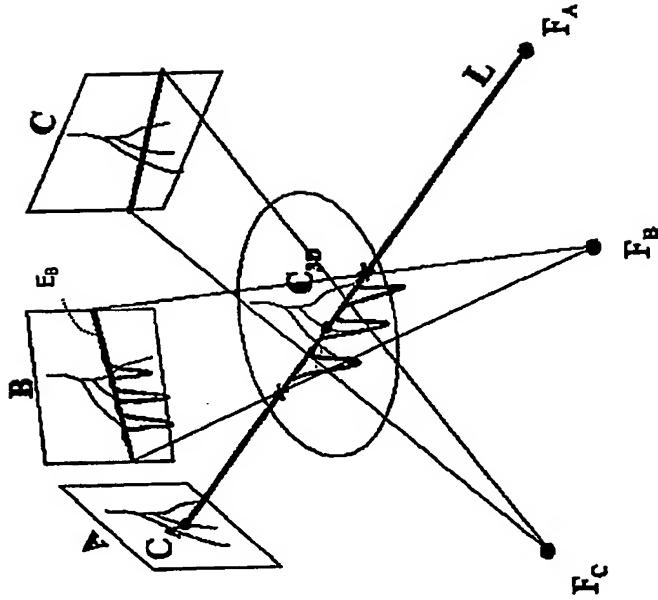


Fig. 2

2/2

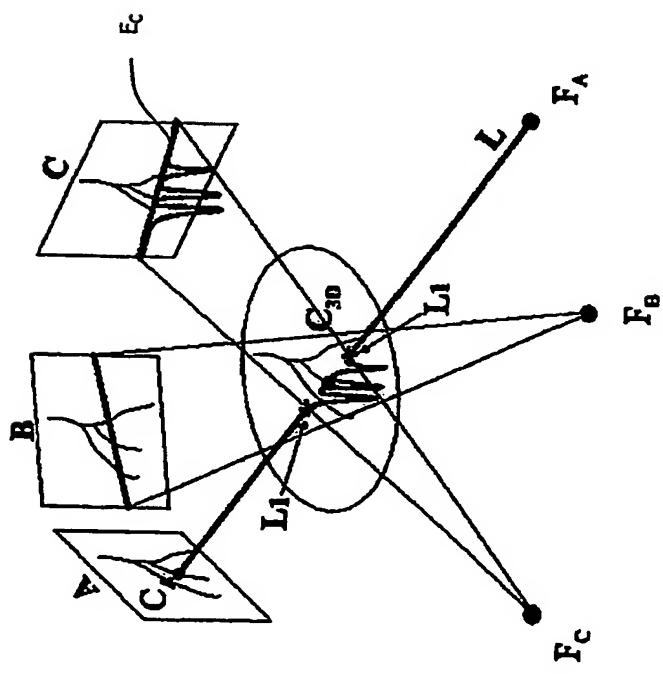


Fig. 3

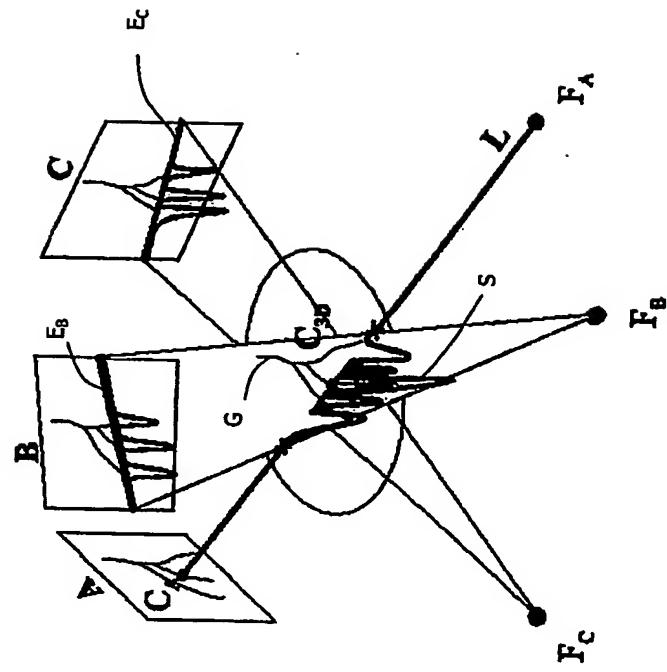


Fig. 4

ZUSAMMENFASSUNG

Einrichtung und Verfahren zur Erzeugung eines dreidimensionalen Gefäßmodells

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rekonstruktion eines dreidimensionalen Modells eines Gefäßbaumes aus zweidimensionalen Röntgenprojektionsaufnahmen (A, B, C), die aus verschiedenen Raumrichtungen aufgenommen werden. Auf einer ersten Projektionsaufnahme (A) wird mindestens ein Referenzpunkt (C_A) vorgegeben. Die Grauwertprofile entlang der Epipolarlinien (E_B , E_C) zu diesem Referenzpunkt (C_A) in anderen Projektionsaufnahmen (B, C) werden dann auf die Projektionslinie (L) des Referenzpunktes (C_A) projiziert und dort punktweise zu einem Summenprofil (S) addiert. Das Summenprofil (S) weist an der Stelle des zum Referenzpunkt (C_A) gehörenden Raumpunktes (C_{3D}) ein Extremum, zum Beispiel ein Grauwert-Minimum auf. Auf diese Weise ist es möglich, semi-automatisch einen Gefäßbaum aus Röntgenprojektionen zu rekonstruieren.

15 Fig. 4

PCT/IB2004/051428

